

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

MATKO UNKOVIĆ

**GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE
LNG BRODA S OSVRTOM NA PLOVIDBU
JADRANOM**

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2017

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKE TEHNOLOGIJE JAHTA I MARINA

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE
LNG BRODA S OSVRTOM NA PLOVIDBU
JADRANOM

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:
dr. sc. IZVOR GRUBIŠIĆ

STUDENT:
MATKO UNKOVIĆ
(MB:0171231983)

SPLIT, 2017.

SAŽETAK

U ovom su radu opisane geometrijske karakteristike LNG brodova uz kratku analizu plovidbe takvih brodova u Jadranskom moru. U uvodu su opisane karakteristike LNG plina, povijest razvoja takvih brodova, ali i geopolitički značaj njegovog razvoja, uz poseban osvrt na predloženi projekt LNG terminala na Krku. U središnjem se dijelu nalazi osvrt na geometrijske karakteristike LNG brodova te je opisana plovidbena ruta od Otranta do Omišlja, uz poseban osvrt na utjecaj jadranskog juga na rutu. Zaključak ponovno opisuje stratešku važnost LNG terminala i pojašnjava razloge zbog kojih se plovidba takvih brodova može sigurno odvijati Jadranskim morem.

Ključne riječi: LNG, Omišalj, prirodni plin, Otrantska vrata

ABSTRACT

The work describes geometric characteristics of LNG carriers alongside a brief analysis of navigating such ships in the Adriatic. The introductory part describes the characteristics of natural gas and the process of liquefying it while also describing the historical development of LNG carriers and the current geopolitical significance of using natural gas as an important source of energy. A special review of the proposed Omišalj LNG terminal is also added. The elaboration of the subject begins with detailed descriptions of LNG carrier's geometric sizes after which the Omišalj – Otrant navigational route is analysed in detail. A special review of the Adriatic southern wind „jugo“ is also elaborated in the context of its importance in navigating the Adriatic sea. The conclusion offers a description of the strategic importance of building an LNG terminal on Krk while also explaining the reasons why shipping LNG in the Adriatic is a sound proposition.

Keywords: LNG, Omišalj, natural gas, Otrant

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOMETRIJSKE KARAKTERSTIKE LNG BRODA	5
2.1. GLAVNE DIMENZIJE BRODA	7
2.1.1. Visina, širina i gaz.....	8
2.2. NOSIVOST	13
2.3. ISTISNINA	14
2.4. BLOK KOEFICIJENT	15
2.5. PRIZMATIČKI KOEFICIJENT	16
2.6. OBLIK VODNE LINIJE.....	18
3. PLOVIDBENA RUTA OMIŠALJ- OTRANTSKA VRATA	20
3.1. RUTA OMIŠALJ- OTRANTSKA VRATA, GUSTOĆA I BRZINA PROMETA.....	20
4. UTJECAJ JAKOG JUGA	25
4.1. JUGO	26
4.2. VALOVI	29
4.3. ANALIZA RUTE S OBZIROM NA JUGO	30
5. ZAKLJUČAK	32
LITERATURA	33
POPIS SLIKA.....	35

1. UVOD

LNG je engleska skraćenica, engl. liquefied natural gas, za ukapljeni prirodni plin, odnosno mješavinu pretežito metana s manjom količinom etana, propana, butana i dušika, a ponekad i drugih otrovnih plinova. Prve eksperimente s likvificiranjem prirodnog plina provodio je poznati kemičar Michael Faraday u 19. stoljeću, a prva postrojenja izgrađena su početkom 20. stoljeća.

Radi lakšeg transporta taj se prirodni, odnosno zemni plin, rashlađuje na vrlo niskim temperaturama od -162 celzijevih stupnjeva sve dok ne promijeni agregatno stanje u tekuću formu. Karakteristike plina su bezbojnost, nedostatak izrazitog mirisa, nekorozivnost i netoksičnost

Proces ukapljenja se odvija na posebnim LNG terminalima, pri čemu se u polazišnom postrojenju odvija prijelaz iz plinovitog u tekuće agregatno stanje, a na odredišnom postrojenju odvija se obrnuti proces, skladištenje i distribucija. Ukapljenje uključuje rashlađivanje plina uz uklanjanje pojedinih komponenti poput prašine, otrovnih plinova, helija, vode i teških ugljikovodika. Pri tome se uvelike smanjuje volumen plinske mase i stabilizira se na približnom atmosferskom tlaku.

Zemni plin se u takvom obliku jednostavnije i ekonomičnije prevozi, a veći dio transporta se odvija putem cjevovoda. Drugi oblik prijevoza obuhvaća prijevoz specijaliziranim LNG brodovima, odnosno tankerima kod kojih minimalna dubina vode mora biti veća od 12 metara kada su potpuno puni, a duljina im doseže i preko 300 metara. Trup takvih brodova je obložen dvostrukom specijalno dizajniranom otplatom koja može podnositi niske temperature na kojima se ukapljeni plin prevozi.

Prvi brod konstruiran za prijevoz ukapljenih plinova bio je „AGNITA“, sagrađen 1931. godine u brodogradilištu u Engleskoj, ali je za skladištenje koristio boce pod tlakom učvršćene na palubi. Kasnije je u Texasu nakon Drugog svjetskog rata prenamijenjen brod za suhi teret u kojeg je ugrađeno 68 uspravnih cilindričnih posuda visine između 7 i 14 metara te promjera između 2 i 4 metra, raspoređenih u 5 skladišta za teret.

Kasnije, tijekom 20. stoljeća zahtjevi industrije kretali su se u smjeru traženja načina za prijevoz metana za kojega je najoptimalnije skladištenje u uvjetima atmosferskog tlaka za razliku od LPG-eva (engl. *Liquified petroleum gas*- ukapljeni naftni

plin) koji su zahtijevali prijevoz pod tlakom. Razvoj ovakvog načina skladištenja doveo je do toga da su se spremnici izrađivali s puno tanjim stijenkama nego prije.

Danas većina velikih LNG brodova ima između četiri i šest spremnika za plin sa specifičnim oblikom dvostrukog trupa. Između unutarnjeg trupa i vanjskog nalazi se kombinacija balastnih voda i međuprostora. Unutar svakog spremnika najčešće se nalaze tri uronjene pumpe koje služe za dovod, odnosno odvod plina.

Početkom 2017. godine registrirano je bilo 122 narudžbe za izgradnju LNG brodova, u prosjeku kapaciteta između 120.000 i 140.000 kubnih metara, ali ima i primjera kapaciteta tankera od čak 260.000 kubnih metara. 2016. godine ukupni broj LNG tankera koji se koriste za prekomorska putovanja dosegno je 451 brod.

Ekološka šteta koja može nastati pri potencijalnim pomorskim havarijama tih tankera nije ni približna kao kod ostalih tankera jer ukapljeni prirodni plin u dodiru s vodom bezopasno isparava u Zemljinu atmosferu zbog ogromne razlike između temperature mora i temperature likvidnog plina.

Pomorski prijevoz ukapljenog plina nije često ekonomski toliko profitabilan koliko se mora uložiti u izgradnju tih relativno kompleksnih postrojenja. Faktor geopolitike često biva presudnim u odluci zemlje da krene u izgradnju, odnosno poticanje izgradnje LNG terminala za pomorski prijevoz.

U posljednjem desetljeću nastajale su sve veće političke razlike u strateškim ciljevima zapadnih zemalja i Rusije, jednog od najvećih svjetskih izvoznika i proizvođača prirodnog plina. Nestabilnost na Bliskom Istoku i tenzije s trećim najvećim proizvođačem zemnog plina – Iranom – samo su neki od razloga zbog kojih su europske zemlje odlučile smanjiti isključivu ovisnost o plinu tih zemalja i krenule poticati izgradnju LNG terminala kako bi mogle morskim putem dovoziti ukapljeni iz arapskih savezničkih država ili SAD-a.

Povijesno gledano, azijsko-pacifička regija bila je dugo vremena najveći svjetski izvoznik ukapljenog plina, ali su ih posljednjih godina prestigle bliskoistočne zemlje od kojih se posebno ističe Kraljevstvo Katar.

Jedna od predloženih lokacija za izgradnju prihvatnog LNG terminala iz kojeg bi se kasnije plin cjevovodima transportirao u ostale države regije jest Omišalj na otoku Krku u Hrvatskoj. Prva su istraživanja izrađena još 1995. godine kako bi se ispitala lokacijske mogućnosti za izgradnju takvog postrojenja, a daljnje studije su izvođene poslije 2006. godine pa sve do danas.

Izgradnja LNG terminala se dugo vremena smatrala investicijom koje si samo bogate zemlje i velike energetske kompanije mogu priuštiti. Cijena većine izgrađenih terminala kretala se između 1 i 3 milijarde dolara. Tako je i prvi pokušaj u Hrvatskoj započeo osnivanjem energetskog konzorcija „LNG Adria“ s vlasničkim udjelima austrijskog OMV-a, njemačkog E.ON. Ruhrgasa, francuskog Total S.A. i slovenskog Geoplina, uz predviđene udjele nacionalnih kompanije INA-e i PLINACRO-a.

Projekt je predviđao godišnji kapacitet za otprilike pet puta veću količinu od godišnjih domaćih potreba za ovim energentom koja je dvotrećinski pokrivena vlastitom proizvodnjom. .

Nakon duljeg vremena, raznih prepreka, trakavica i bombastičnih najava, ove je godine objavljeno da je Europska Unija odobrila oko 100 milijuna eura za taj projekt. Dosadašnja procijenjena vrijednost cjelokupne investicije iznosila je oko 800 milijuna eura, ali se trenutačno izrađuju studije izvodljivosti koji predviđaju drugačiji projekt s plutajućim terminalom čija se ukupna vrijednost procjenjuje na 363 milijuna eura.

Europska energetska strategija uz ekološku komponentu i učinkovitost, stavlja naglasak na diverzifikaciju energetske izvora, posebice zbog ogromne ovisnosti o ruskom plinu. Vjerojatno je i zbog tog faktora LNG terminal u Omišlju opet postao aktualan i atraktivan, unatoč upitnoj ekonomskoj isplativosti. Hrvatska će tim projektom neupitno uspjeti trajno osigurati zalihe za svoje plinske potrebe i pojeftiniti cijenu plina za domaće potrošače, ali je upitno koliki dio spremišnih i distribucijskih kapaciteta će realno biti iskorišten.

Upravo zbog toga je posljednjih godina narastao uvoz ukapljenog prirodnog plina u Europi koji je i doveo do razvoja prihvatnih LNG terminala. Izuzev Rusije i Norveške, sve europske zemlje su uvoznici LNG plina i tako postoji čak 25 prihvatnih LNG terminala, od kojih su 22 kopneni, a 3 plutajući. Ukupni kapacitet svih tih terminala je 216 milijardi kubnih metara, a što pokriva otprilike 40% godišnjih europskih potreba. U planu je izgradnja još 20 velikih prihvatnih LNG terminala.

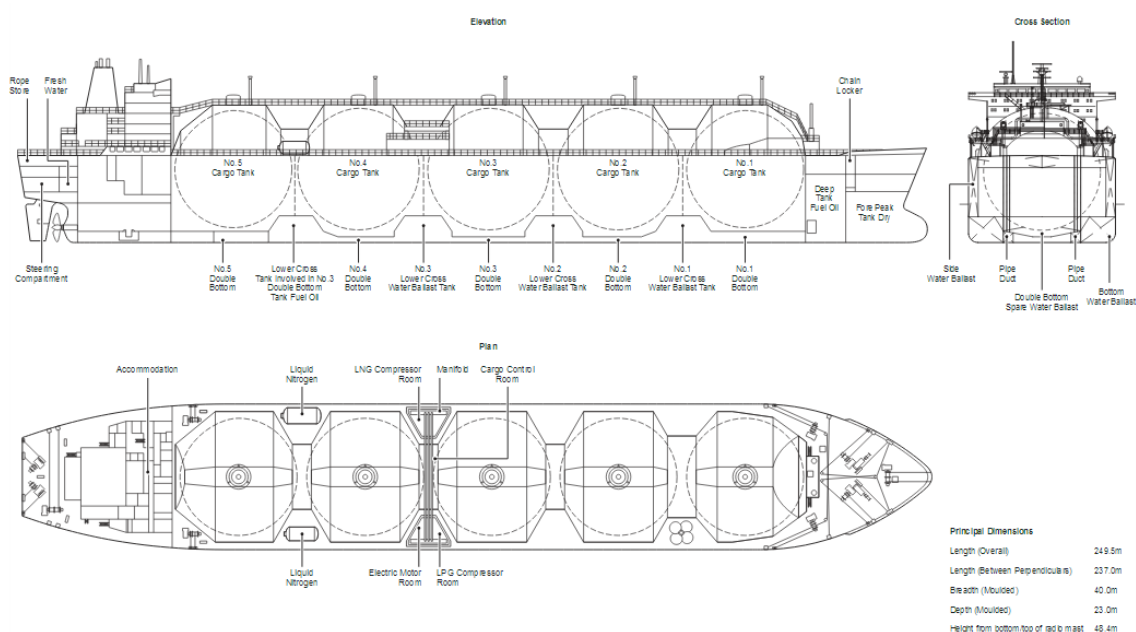
Na istočnoj obali Italije, pokraj Venecije, nalazi se još jedan LNG terminal, kapaciteta 8 milijardi kubnih metara i u vlasništvu američke korporacije Exxon Oil. Taj, kao i većina europskih LNG terminala ne funkcionira s punim kapacitetom, posluje s gubitkom i dovodi plin koji je ipak dosta skuplji nego onaj dovođen cjevovodima.

Ovaj rad neće biti fokusiran na ekonomske ili geopolitičke aspekte LNG terminala u Omišlju na otoku Krku, već na tehničke karakteristike brodova koji prevoze

ukapljeni prirodni plin, ali i na planirane pomorske rute kojima će ti brodovi putovati i opasnosti, odnosno izazove koje će sretati putem.

2. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE LNG BRODA

Na morsku plovidbu broda utječu razni čimbenici. Neki dolaze iz okoline, drugi su vezani za pomorce koji su na brodu i upravljaju njime, a treći su posljedica osobina koje je brodograditelj odredio brodu prilikom izgradnje i opremanjem istog. Brodograditelj izborom širine, visine, dužine, oblikom trupa, konstrukcije, motora, opreme itd. određuje osobine broda koje su najviše određene formom trupa i geometrijskim značajkama. Geometrija broda je temelj brodograđevnog znanja. Na brod i njegovu plovnost, stabilitet, otpor, propulziju, upravljivost tj. skoro na sva brodska svojstva utječu geometrijske osobine brodske forme. [1]



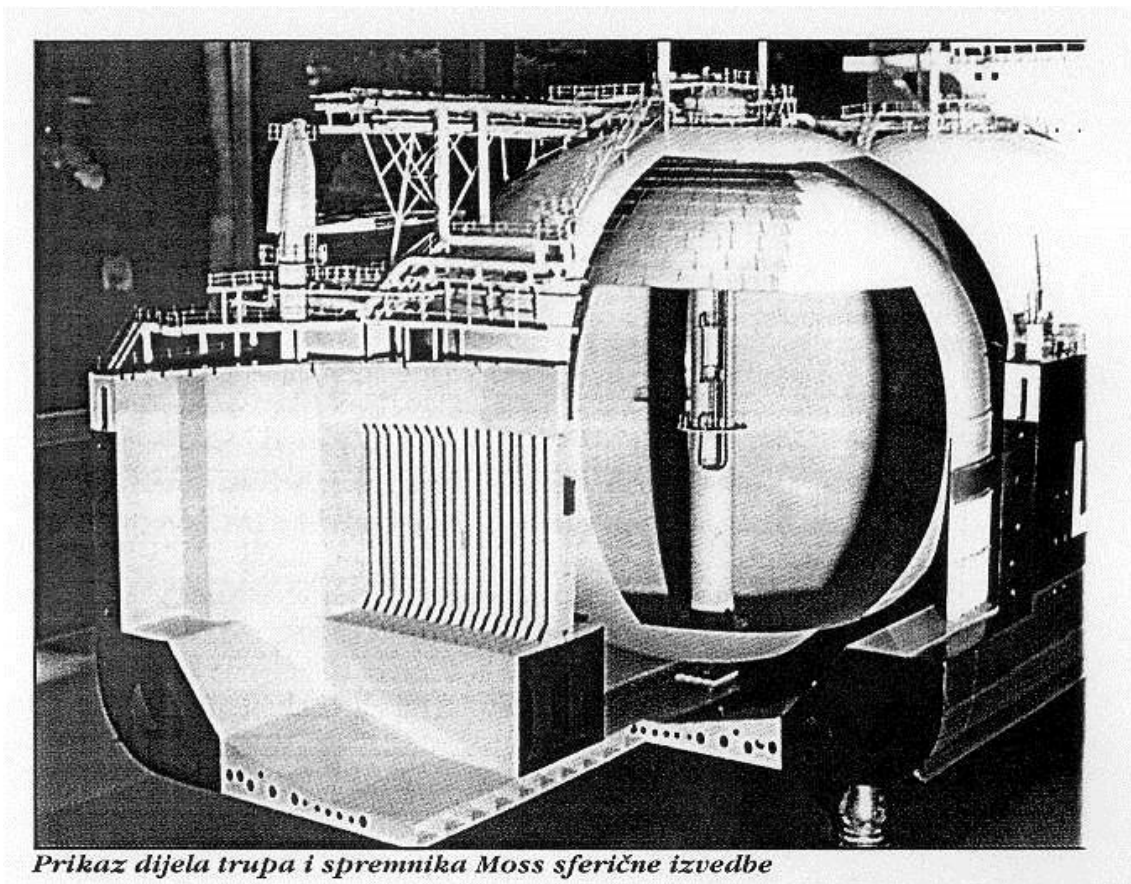
Slika 1 – Opći plan broda- „Norman Lady“ [7]

Tijekom povijesti ljudi su jako puno pokušavali, projektirali i iznosili nove ideje za način prijevoza i izradu LNG brodova. U zadnjih nekoliko godina nastale su dvije osnovne vrste LNG brodova:[2]

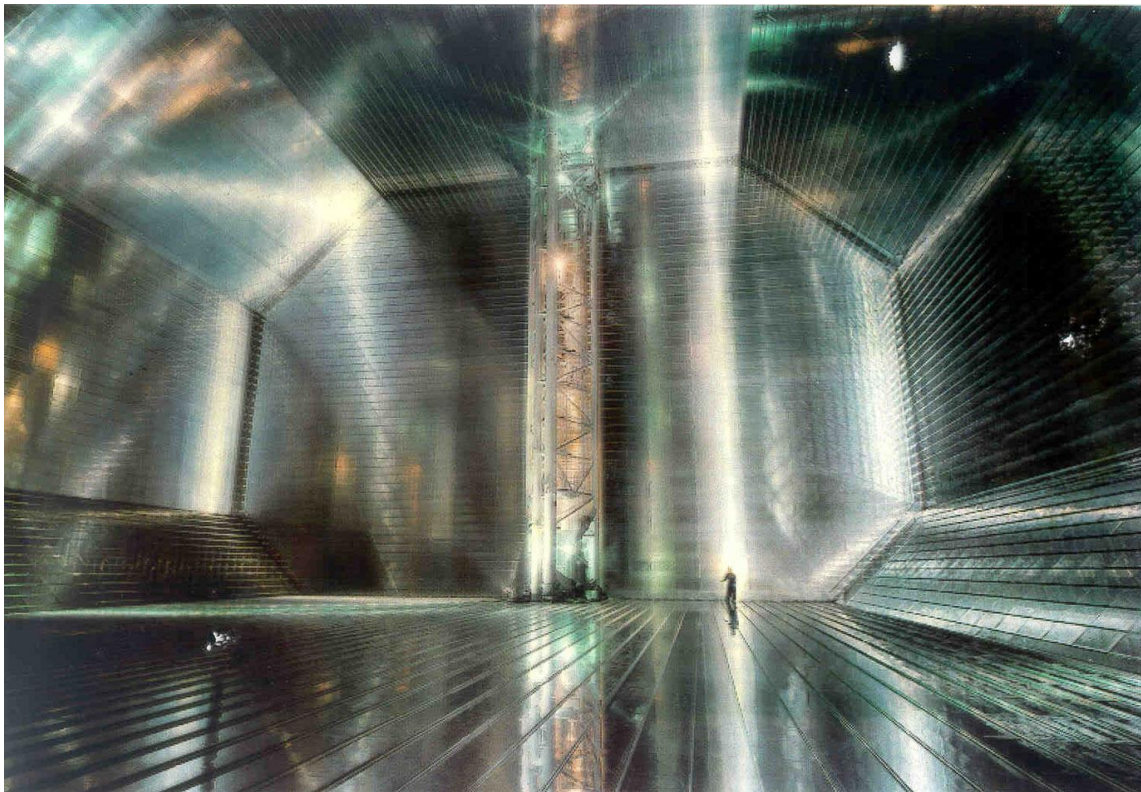
- Brodovi sa sfernim tankovima- prvi LNG koji je koristio sferne tankove tzv. Kvarner- Moss sistem bio je Norman Lady koji je 1973. godine porinut u more u Stavangeru u Norveškoj.[2] Tank je oslonjen na ekvatorijalni prsten koji prenosi opterećenje na dvostruku oplatu. Materijel tanka je aluminij 5083-0, a izolacija je PU pjena zaštićena AL oplatom. Prednosti sfernih tankova su: povoljniji uvjeti izgradnje, puno manji rizik od oštećenja

prilikom nasukavanja ili sudara, podnose veće tlakove pa je moguć i iskrcaj bez pumpi. [3]

- Membranski brodovi - počeli su se razvijati šezdesetih godina prošlog stoljeća. Koriste tanku fleksibilnu metalnu membranu koja se dodiruje s teretom. Ovi sustavi imaju karakteristike tzv. sendviča jer teret pritišće membrane, membrane pritišću izolacijski materijal, a to se sve na kraju oslanja na unutrašnju oplatu broda. [2] Tri osnovna sistema membranskih brodova su: Gaz Trasport (NO.96), Technigaz: Mark I i Mark III, te CS (Combine System)[3]



Slika 2- Prikaz dijela trupa i spremnika Moss sferične izvedbe [3]

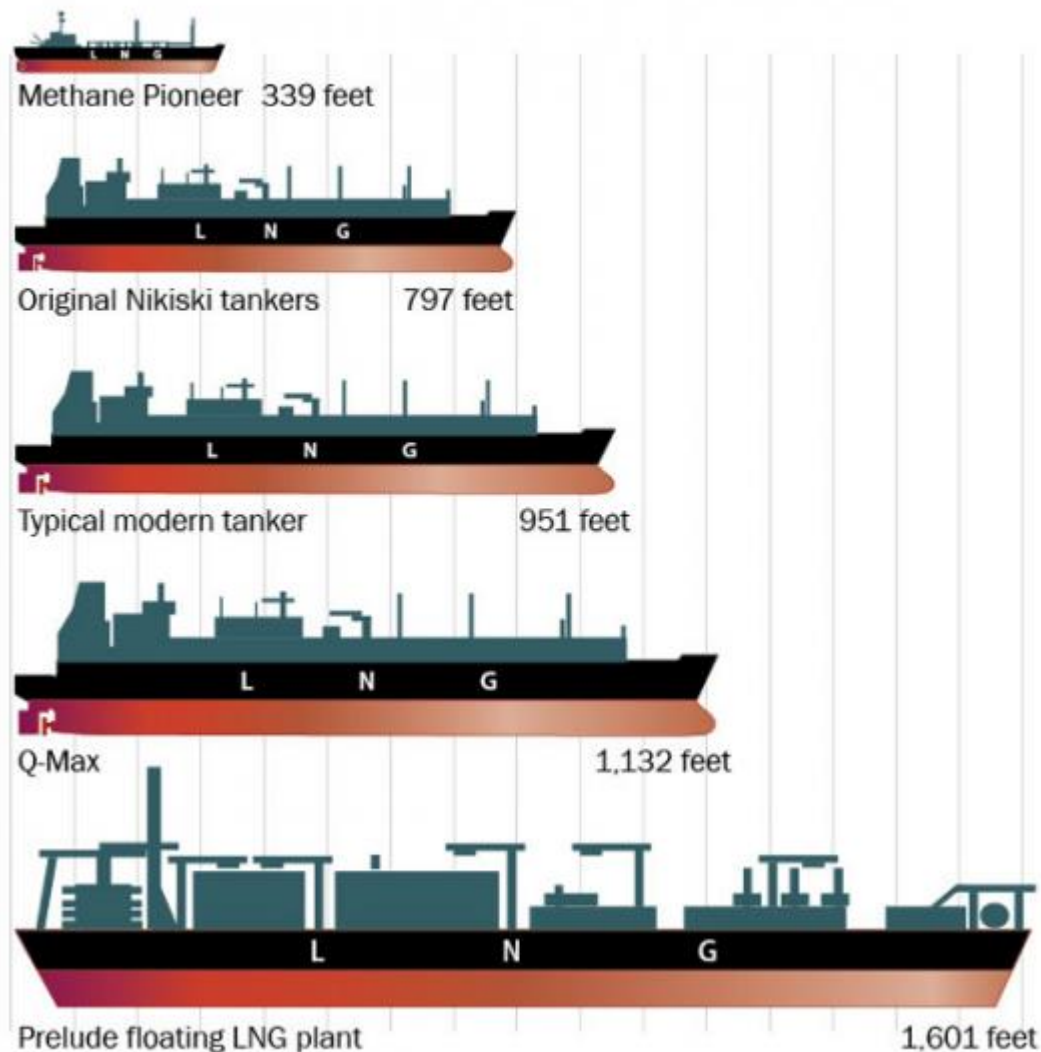


Slika 3 - Gaz Transport NO96 System [3]

2.1. GLAVNE DIMENZIJE BRODA

Glavne dimenzije broda su: visina, širina, dužina i gaz. LNG brodovi kao i ostali brodovi tijekom godina su postajali sve veći i veći zbog toga što su htjeli prevesti što više tereta odjednom kako bi smanjili troškove i uštedili vrijeme. Brodovi ne smiju biti preveliki kako bi mogli koristiti važne strateške prolaze poput Sueskog kanala i Panamskog kanala.

LNG tankers grow in size



Slika 4 - Razvoj LNG brodova [6]

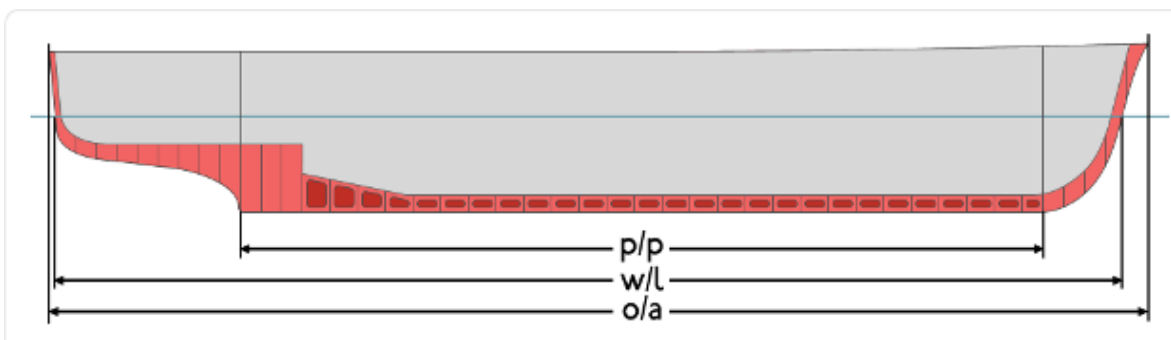
2.1.1. Visina, širina i gaz

Na svakome brodu se može izmjeriti nekoliko dužina:

- Dužina preko svega (engl. *Length over all* - LOA) je najveća dužina broda, tj. ona koja je izmjerena između dviju krajnjih točaka broda na pramcu i na krmi broda
- Dužina na vodenoj liniji (engl. *Length on Water Line* - LWL) je vodoravni razmak između krajnjih točaka na nekoj vodenoj liniji na kojoj u određenom trenutku plovi brod. Razlikuju se dužina na lakoj vodenoj liniji kada je brod potpuno opremljen i

prazan i dužina na konstruktivnoj vodenoj liniji kada je brod potpuno nakrcan teretom. [4]

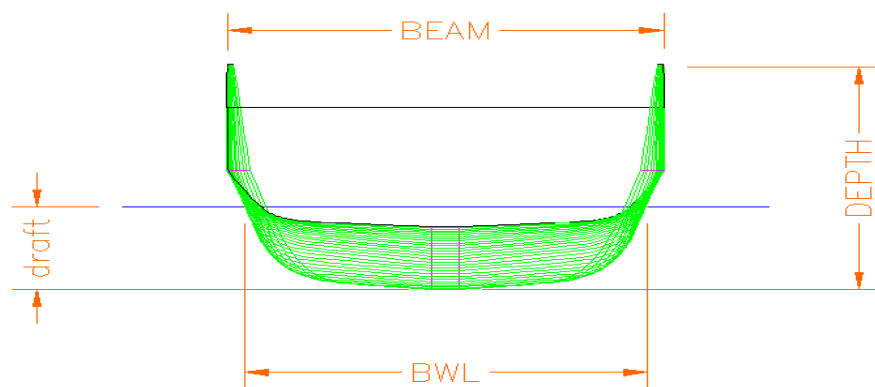
- Dužina između perpendikulara (engl. *Length between Perpendiculars* - LPP) je dužina između točaka gdje počinju pramčana i krmena statva – perpendikulara
- Baždarska dužina (Lreg) je vodoravni razmak između unutrašnje strane oplata na pramcu i krmi. Služi kod određivanja zapremine broda
- Dužina paralelnog srednjaka (Ls) je dužina na kojoj brod ima jednak poprečni presjek. Ona je veća za teretne brodove, a manja za npr. jedrenjake i jedrilice.
- Dužina pramčanog zaoštrenja (Lp) je udaljenost od pramca do početka paralelnog srednjaka, a nema li brod paralelni srednjak, onda do glavnog rebra
- Dužina krmenog zaoštrenja (Lk) je udaljenost od kraja paralelnog srednjaka ili glavnog rebra (ako brod nema paralelni srednjak) do krme broda [4]



Slika 5- Primjer brodskih dužina [4]

Širina broda se na engleski se zove beam i za tu mjeru ima više varijanti:

- Širina preko svega (engl. *Beam over all*) je širina mjerena između dviju krajnjih nepokretnih točaka na bokovima broda
- Širina na vodenoj liniji (engl. *Beam on Water Line* - BWL) je ona izmjerena na nekoj vodenoj liniji na kojoj u određenom trenutku plovi brod [4]



Slika 6- Primjer brodske širine [4]

Gaz broda ili engleski draft je udaljenost od donjeg ruba kobilice do vodene linije na kojoj pluta brod u određenom trenutku. Ta je mjera osobito važna prilikom ulaska i izlaska iz luke, ako je ona smještena na području s izraženim mijenama. Gaz se označava slovom t . [4]

Najveći gaz mjeri se od najnižeg dijela broskog trupa do konstrukcijske vodene crte na mjestu gdje je brod najviše uronjen. Taj gaz treba uzeti u obzir prilikom manevriranja u plitkim vodama. [4]

Kod proračuna stabilnosti broda važno je poznavati gaz na pramcu, gaz na krmi i gaz na sredini broda (glavnom rebru).

U brodograđevnom smislu razlikuju se najmanji konstrukcijski gaz i najveći konstrukcijski gaz. [4]



Slika 7- Gaz broda [4]

Gaz broda se očitava na provi na zagaznicama koje su izražene u metrima ili stopama. [4] Zagaznica je ljestvica na nadvođu broda i koristi se za očitavanje veličine gaza broda.[5]

Uspoređujući jedan od prvih LNG brodova Methane Pioneer te Norman Lady i Q-Max (slika 4) brodom vidjet će se kako su se LNG brodovi razvijali tokom povijesti i postajali sve veći i veći.

MV Methane Pioneer je izgrađen 1945. godine i originalno je bio teretni brod ali je prenamijenjen u LNG brod 1958. godine. Njegove specifikacije su:

- Dužina: 103,17 metara
- Širina: 15,24 metara
- Gaz: 5,48 metara[6]



Slika 8- Methane Pioneer [6]

Norman Lady je prvi LNG koji je koristio sferne tankove tzv. Kvarner- Moss sistem koji je 1973. godine porinut u more u Stavangeru u Norveškoj. [2] Njegove specifikacije su:

- Dužina: 249,5 metara
- Širina: 40 metara
- Gaz: 10,64 metra[7]



Slika 9- Norman Lady [7]

Q-max je najveći LNG brod na svijetu. Pripada katarskoj naftnoj grupaciji prema kojoj je dobio i prvo slovo u imenu tj. Q, dok max označava najveću duljinu broda koja se može smjestiti u katarskoj luci. Prvi brod pušten u pogon je bio 2008. godine. Izgradio ga je južnokorejska brodograditeljska grupacija koja se sastoji od Daewoo-a, Samsunga-a i Hyundai-a. Njegove specifikacije su:

- Dužina: 345 metara
- Širina: 55 metara
- Gaz: 12 metara[8]

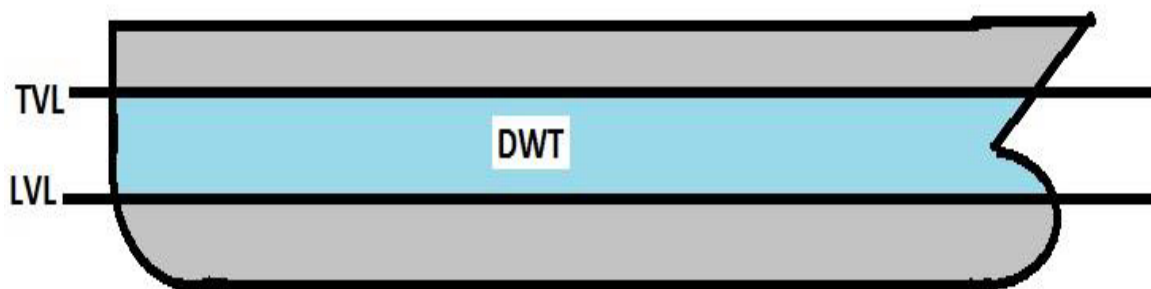


Slika 10- Q-max LNG tanker [8]

2.2. NOSIVOST

Ukupna nosivost broda je razlika između istisnine praznog broda, ali kada je opremljen, i istisnine potpuno nakrcanog broda odnosno masa tereta i zaliha. Ukupna nosivost se dobiva tako da se od desplasmana nakrcanog broda sa zaliham a i teretom oduzme deplasman broda kod lake vodene linije. To je linija do koje je brod uronjen kada je potpuno prazan. U praksi se vrijednost očitava iz tablica.

Korisna nosivost broda je dio nosivosti čija je vrijednost jednaka razlici između ukupne nosivosti i zbroja posredne nosivosti i konstante tj. goriva, zaliha, vode ...[9]



Slika 11- Nosivost broda [9]

- TVL - teretna vodna linija
- LVL - laka vodna linija

Ukupna nosivost (engl. *deadweight*) = korisna nosivost (težina tereta) + posredna nosivost (težina tereta brodskih zaliha- masa goriva, slatke vode, hrane, zalihe rezervnih dijelova, masa posade i masa ostale nepoznate težine)

Deplasman = ukupna nosivost (engl. *deadweight*) + masa praznog broda (engl. *light ship*) [9]

Razvojem tehnologije i brodogradnje brodovi postaju sve veći pa tako i njihova nosivost. Uspoređujući LNG brodove kroz povijet dolazi do velikog napretka brodova pa tako i nosivost raste. Na primjer:

- Methane Pioneer- ukupna nosivost 5034 t [6]
- Norman Lady- ukupna nosivost 50 922 t [7]
- Q-max brod- ukupna nosivost 128 900 t [8]

2.3. ISTISNINA

Istisnina ili deplasman se označava slovom D. Istisnina je jednaka težini vode koju brod istisne svojim trupom, odnosno to je cjelokupna težina broda. Istisnina je jednaka umnošku volumena uronjenog djela broda i specifične težine tekućine u koju je uronjen ($D = V \cdot \delta$)

- specifična težina morske vode je $\delta = 1,025 \text{ t/m}^3$

- specifična težina slatke vode je $\delta = 1,000 \text{ t/m}^3$

Istisnina broda (V) je količina vode koja se istisnula zbog volumena broda. Istisnina se promatra u tri oblika:

- volumen istisnine
- masa istisnine
- težina istisnine[10]

Kod čeličnih brodova prilikom računanja istisnine ne uzima se u obzir debljina oplata nego se proračunava unutar vanjskog ruba rebara, a kod drvenih brodova uzima se u obzir i debljina oplata broda.

Volumen podvodnog dijela broda koji se označava sa V također se naziva i volumen deplasmana. Deplasman se mjeri različito širom svijeta. Na primjer, u Europi se mjeri u metričkim tonama ($t = 1000 \text{ kg}$), u Velikoj Britaniji i na Zapadu je engleska tona ili - duga tona ($t = 1016 \text{ kg}$), a Amerikanci koriste kratku tonu ($t = 907 \text{ kg}$).[10]

Prema zakonu plovnosti, bez uzgona brod ne bi mogao plutati. Sila uzgona izražava se u tonama i jednaka je deplasmanu D. Kako bi se ostavrio uvjet plovnosti, brod uroni u tekućinu sve dok se njegov deplasman ne izjednači sa težinom. Kako je brod sve teži kada ukrcavamo teret, deplasman se automatski regulira i nadoknađuje iz nadvodnog dijela broda. Nadvodni dio broda se koristi kao zaliha plovnosti ili rezervni (pričuvni) deplasman tj. uzgon.[10]

Rezervni deplasman je bitan zbog činjenice što omogućuje brodu podnošenje oštećenja podvodnog dijela broda i primanja dodatog tereta vode prilikom poplava u prostorijama broda. Kod malih brodova sa niskom nadvodnom visinom i malim volumenom postoji veća mogućnost da potonu iako manje količine vode probiju dno broda i uđu u prostorije[10].

Deplasman ili istisninu za LNG brod Norman Lady možemo izračunati prema formuli iz prošlog podnaslova tj. Deplasman= ukupna nosivost+ masa praznog broda.

$$\text{Deplasman} = 50922 \text{ t} + 23380 \text{ t} = 74302 \text{ t}$$

2.4. BLOK KOEFICIJENT

Blok koeficijent ili koeficijent punoće engleskog naziva „block coefficient“ je omjer volumena prizme opisane podvodnom dijelu brodske forme tj. dimenzije i omjer istisnine. Formula je $C_b = V / (L_{wl} \cdot B_{wl} \cdot T_{wl})$

Gdje je : C_b - blok koeficijent

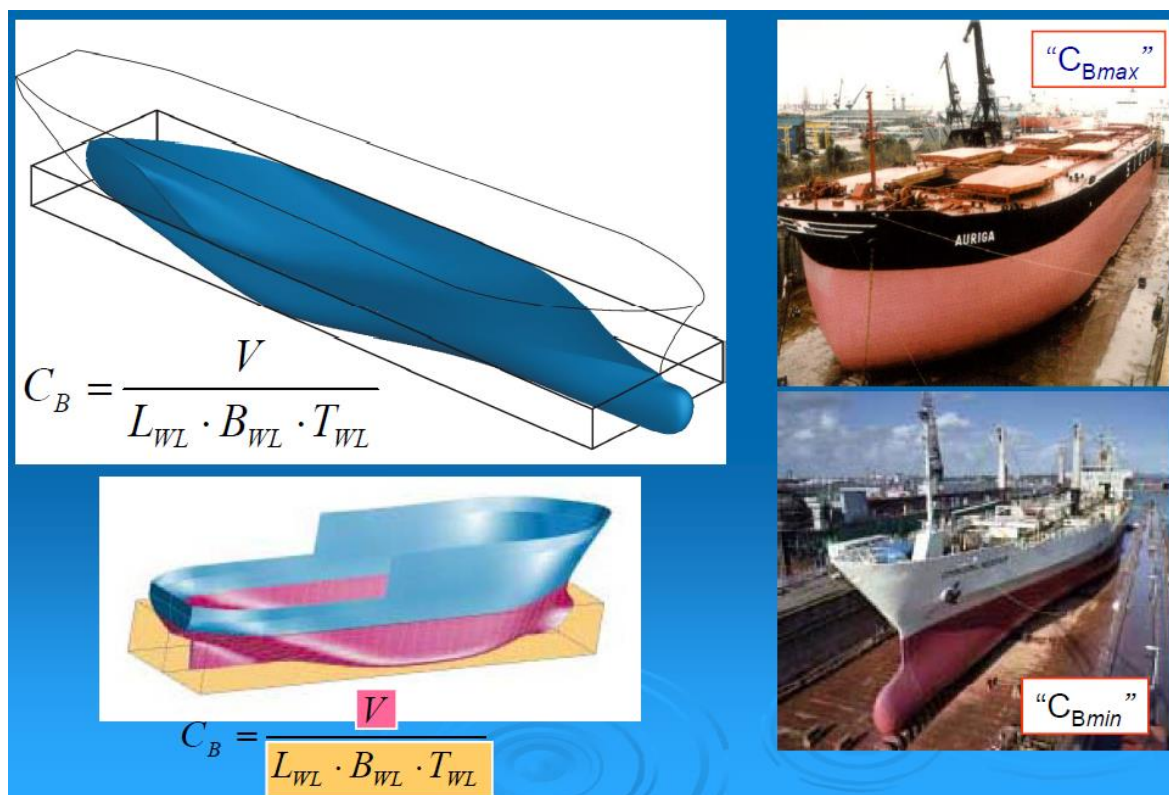
V - istisnina broda

L_{wl} - dužina broda na vodnoj liniji

B_{wl} - širina glavnog rebra

T_{wl} - gaz do vodne linije [1]

Blok koeficijent za LNG brod Norman Lady je $C_b = 74302 / (237 \cdot 40 \cdot 10,64) = 0,737$



Slika 12- Izračun blok koeficijenta [11]

2.5. PRIZMATIČKI KOEFICIJENT

Prizmatički koeficijent ili koeficijent finoće engleskog naziva „prismatic coefficient“ je omjer volumena prizme koja ima duljinu broda, a baza je presjek forme na glavnom rebro odnosno na rebro najveće površine i volumen istisnine brodske forme.

Formula glasi $C_p = V / (A_m \cdot L_{wl})$ ili $C_p = C_b / C_m$, a C_m dobijemo iz formule $C_m = A_m / (B_{wl} \cdot T_{wl})$.

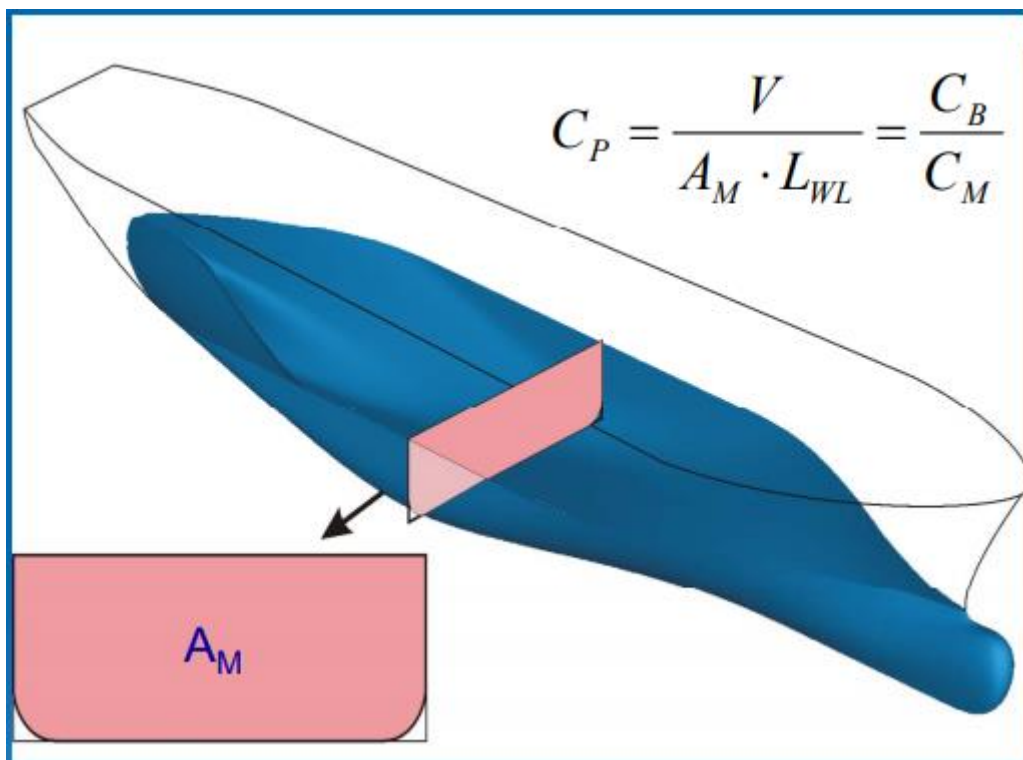
Gdje je:

- C_p - prizmatički koeficijent
- V - istisnina broda
- A_m - površina glavnog rebra do vodne linije
- L_{wl} - dužina broda na vodnoj liniji
- C_b - blok koeficijent
- C_m - koeficijent punoće glavnog rebra
- B_{wl} - širina glavnog rebra
- T_{wl} - gaz do vodne linije [1]

Prizmatički koeficijent ili koeficijent uzdužne finoće broda utječe na vrijednost otpora broda pa se prema njemu određuje snaga pogonskog stroja.[11]

Prizmatički koeficijen LNG broda Norman Lady je:

- $C_p = 74302 / (237 \cdot 420,31) = 0,75$
- $C_m = A_m / (B_{wl} \cdot T_{wl})$ kada uvrstimo C_m u formulu dobijemo da je $C_p = 0,737 / 0,988 = 0,75$

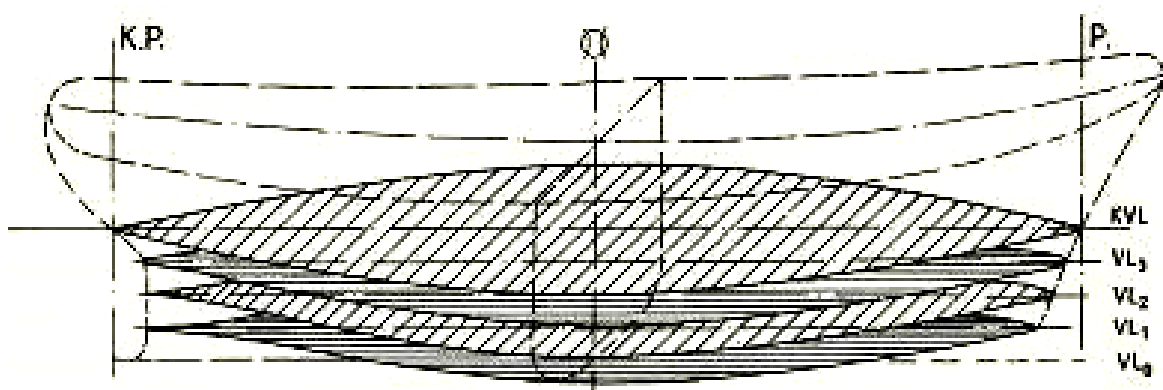


Slika 13- Izračun prizmatičog koeficijenta [11]

2.6. OBLIK VODNE LINIJE

Vodna linija (VL) je plovna ravnina do koje brod uroni u vodu. Ona ovisi o dužini, širini i gazu broda. Razlikujemo nekoliko vrsta vodnih linija:

- Konstruktivna vodna linija (KVL) je plovna linija za koju je brod konstruiran i na kojoj brod plovi kada je potpuno opremljen i natovaren
- Teretna vodna linija (TVL) je trenutna vodna linija na kojoj brod plovi kada je nakrcan sa određenom količinom nekoga tereta
- Laka vodna linija (LVL) je vodna linija na kojoj brod plovi potpuno opremljen bez tereta, posade, goriva itd.[12]



Slika 14- Vodne linije broda [12]

Oblik vodnih linija može biti finiji i puniji. Finije vodne linije imaju brodovi kojima je brzina primarna kao što su neki putnički i ratni brodovi, a punije vodne linije imaju teretni brodovi radi većeg prostora za ukrcaj tereta.[12]

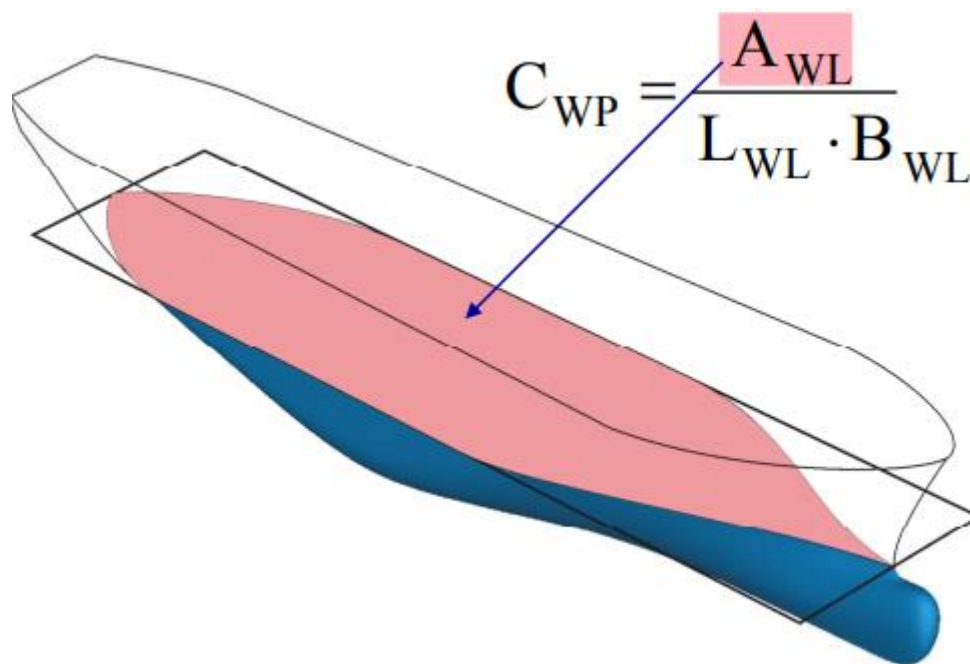
Koeficijent vodne linije C_{wp} koji je omjer površine vodne linije i površine oko nje opisanog pravkutnika čija je jedna stranica duljina vodne linije, a druga širina glavnog rebra. Što je koeficijent vodne linije manji, oblik teretne vodne linije je finiji, a što je on veći, oblik te linije je puniji.[12]

Koeficijent vodne linije izračunava se po formuli $C_{wp} = A_{wl} / (L_{wl} * B_{wl})$

gdje je: A_{wl} - površina vodne linije [m^2]

L_{wl} - duljina vodne linije [m]

B_{wl} - širina glavnog rebra [m]



Slika 15- Izračun koeficijenta vodne linije [11]

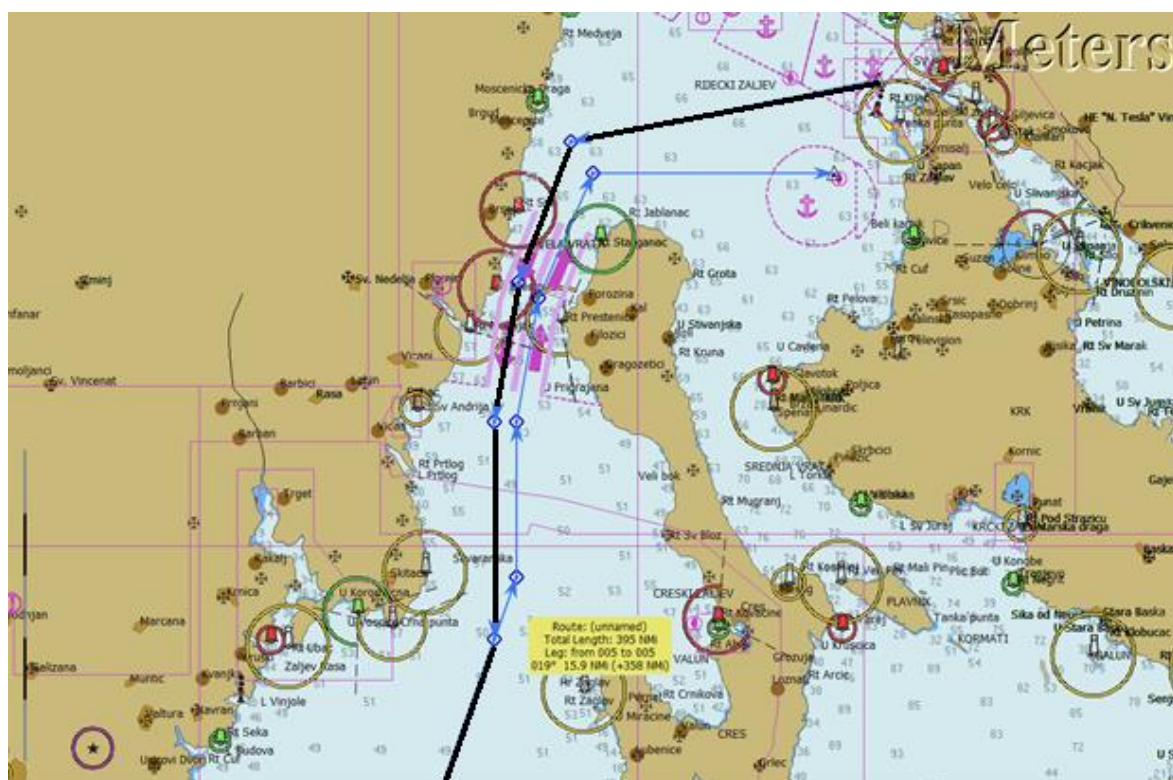
3. PLOVIDBENA RUTA OMIŠALJ- OTRANTSKA VRATA

Omišalj se nalazi na Krku, otoku na Sjevernom Jadranu u Kvarnerskom zaljevu. Jedan je od najstarijih gradova otoka Krka te njegova povijest počinje još u 3 stoljeću.[13]

Grad i luka Otranto nalazi se na jugu Italije. Smješten je na obali Otrantskih vrata te je bio važna luka u rimskom razdoblju, a za vrijeme Bizanta je doživjela procvjet. I danas je njena važnost velika zbog povoljnog strateškog položaja. [14]

3.1. RUTA OMIŠALJ- OTRANTSKA VRATA, GUSTOĆA I BRZINA PROMETA

Udaljenost između Omišlja i Otrantskih vrata je 404.7 nautičkih milja. Prosječna brzina LNG broda je 17 čvorova. Kada bi brod krenuo u 08:00 iz Omišlja stigao bi sljedeći dan u 07:48 odnosno putovanje bi trajalo 23 sata i 48 minuta.

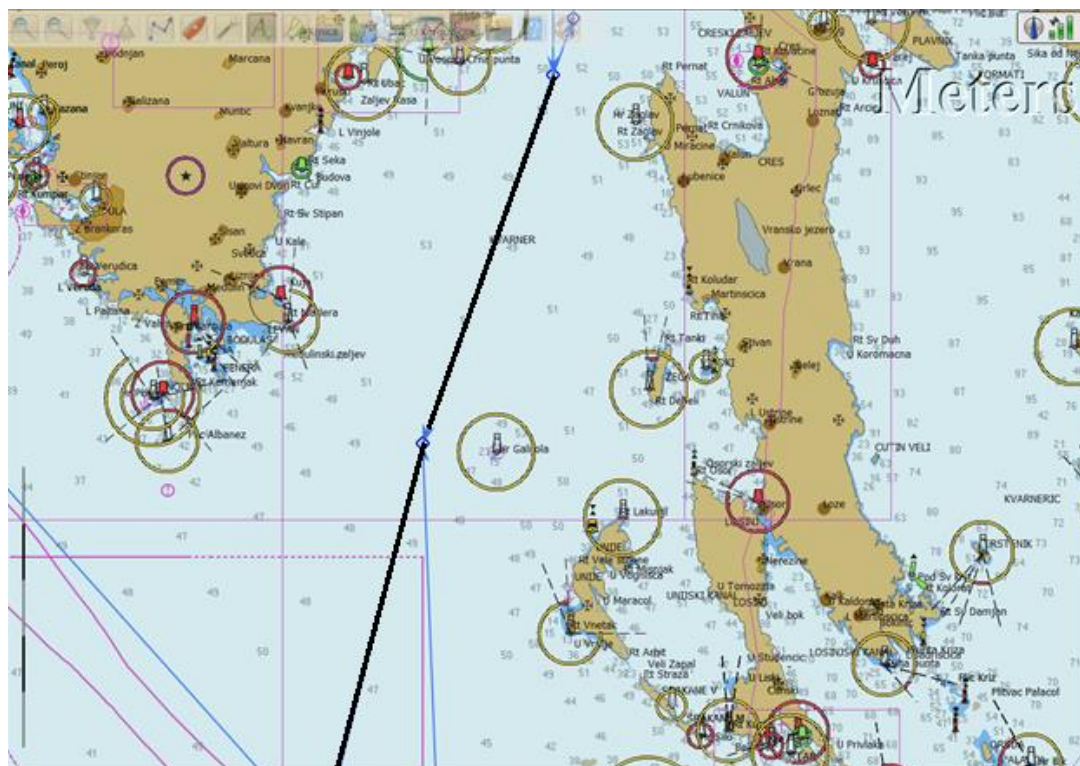


Slika 16- Kvarner, ruta Omišalj – Otrantska vrata

Nakon isplovljavanja iz luke Omišalj ($45^{\circ}15,0$ N, $014^{\circ}31,0$ E) , otpuštanja tegljača i iskrcaja pilota, plovi se Riječkim zaljevom 10,1 nautičku milju kursom od 258 stupnjeva prema prvoj putnoj točki ($45^{\circ}13,0$ N, $014^{\circ}17,0$ E). Tad se mijenja kurs na 200 stupnjeva te

plovi 4,8 NM prema separacijskoj zoni Vela Vrata ($45^{\circ}08,5$ N, $014^{\circ}14,6$ E)- te dalje između obale Istre i Cresa kursom od 189 stupnjeva, 4,6 NM do četvrte putne točke južno od Velih Vrata ($45^{\circ}04,0$ N, $014^{\circ}13,5$ E). Potom se mijenja kurs na 180 stupnjeva te plovi 7 NM prema Crnoj Punt ($44^{\circ}57,0$ N, $014^{\circ}13,0$ E). Kod Crne Punte kurs se mijenja na 199 stupnjeva te plovi 13.8 NM prema otoku Galiola ($44^{\circ}44,0$ N, $014^{\circ}07,0$ E) .

U ovom području promet je srednje gustoće, te treba obratiti pozornost na brodove koji plovi prema lukama Rijeka, Bakar i Martinšćica ili isplovljavaju iz istih. Pozornost treba obratiti i na katamarane redovnih linija, kao i na trajekte koji vozi na liniji Brestova - Porozina i čija ruta presjeca separacijsku zonu, ali u principu oni ne bi smjeli ometati plovidbu brodovima u separaci. U ovom području ima i dosta lokalnih ribara koji svakodnevno tu love ribu raznim ribarskim alatima.



Slika 17- Ruta Crna Punta – otočić Galiola

Od otoka Galiola nastavlja se kursom od 194 stupnjeva 32 NM plovidbu prema separacijskoj zoni sjevernog Jadrana ($44^{\circ}13,0$ N, $013^{\circ}56,0$ E), te siječe separaciju i okrećemo prema jugoistoku. Na tom dijelu rute treba obratiti pozornost na brodove koji plovi prema lukama Trst i Kopar, a kojima se siječe rutu, kao i na platforme koje su postavljene u blizi separacijske zone.

Mijenja se kurs na 143 stupnjeva i plovi 16.2 NM prema osmoj putnoj točki u blizini platforme Katarina (44°00,0 N, 014°09,5 E). Nakon što se prođe platforma Katarina nastavlja se ploviti kursom od 141 stupanj 136 NM prema separacijskoj zoni Palagruža (42°14,0 N, 016°06,0 E) i na tom dijelu rute se ne očekuje neki značajniji promet.



Slika 18- Luka Brindisi i Otranto

Nakon separacijske zone kod Palagruže plovi se kursom od 134 stupnjeva 127 NM te dolazi blizu luke Brindisi kod desete putne točke (40°46,0 N, 018°07,0 E). Mijenja se kurs na 138 stupnjeva te plovi još 53.2 NM dok se ne stigne blizu luke Otranto (40°06,0 N, 018°53,0 E).

Na dijelu rute od Palagruže prema Otrantskim vratima može se očekivati pojačani promet u blizini talijanske luke Brindisi, kao i na samim Otrantskim vratima.

Luka Brindisi je prilično prometna, tako da se pozornost obraća na trgovačke i putničke brodove koji uplovljavaju ili isplovljavaju iz te luke, na brodove koji plove prema Otrantu zapadnijom rutom, one koji od Otranta plove prema sjeverozapadu, kao i na lokalne ribare kojih ima u većem broju. Na samim Otrantskim vratima možemo očekivati također pojačan promet jer se tu sijeku rute svih brodova koji ulaze i izlaze iz Jadranskog mora.

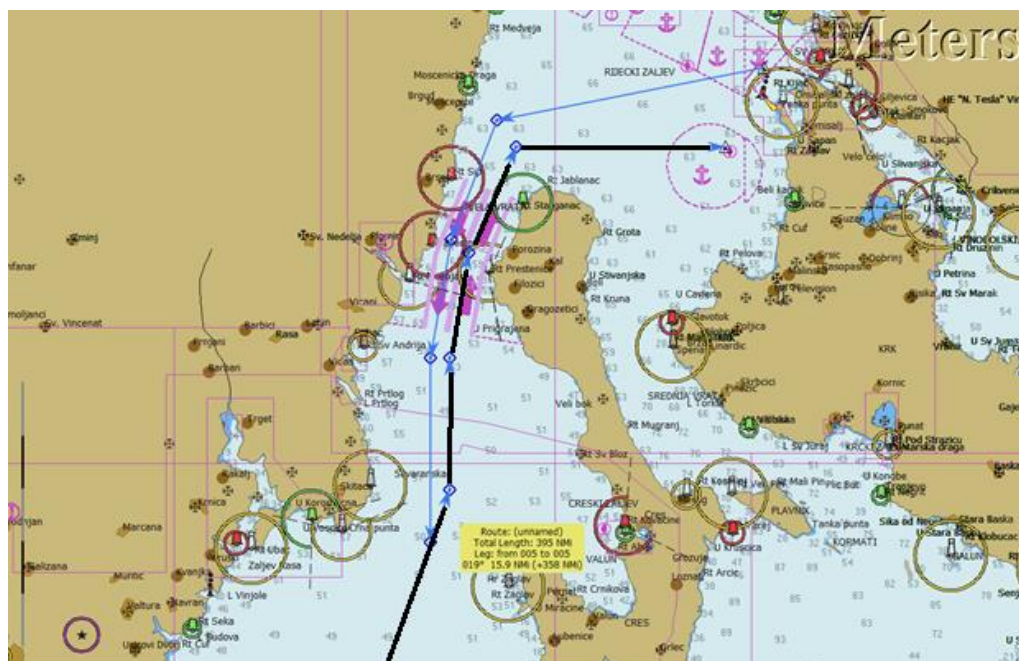
Putovanje od Otrantskih vrata do Omišlja traje 23 sata i 17 min te je udaljenost 395.9 nautičkih milja. Ako se iz Otranta krene u 08:00 u Omišalj se stiže sljedeći dan u 07:17. Kreće se iz Otranta (40°06,0 N, 018°53,0 E) kursom od 318 stupnjeva te plovi 53.2 NM u blizini luke Brindisi (40°46,0 N, 018°07,0 E), a gdje se mijenja kurs na 316

stupnjeva i plovi 139 NM prema separacijskoj zoni kod Palagruže (42°14,0 N, 016°06,0 E).



Slika 19- Separacijska zona kod Palagruže

Nakon separacijske točke kod Palagruže mijenja se kurs na 321 stupnjeva te plovi 130 NM prema sljedećoj putnoj točki u Sjevernom Jadranu (44°08,0 N, 014°09,0E). Od tamo se kreće prema otočiću Galioli (44°44,0 N, 014°07,0 E) kursom 357 stupnjeva te plovi 36 NM.

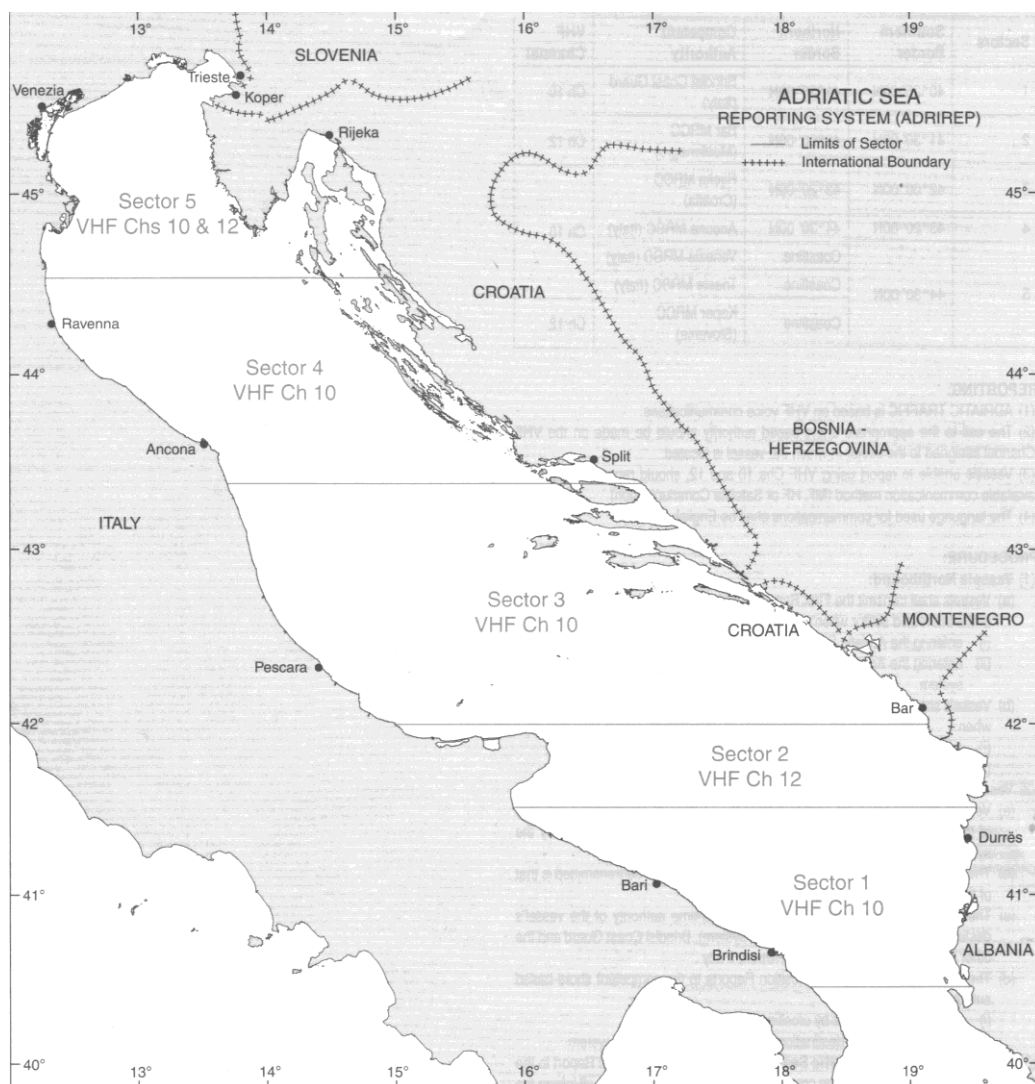


Slika 20- Kvarner, ruta Otrantska vrata- Omišalj

Od Galirole se ide kursom 19 stupnjeva 15.9 NM gdje se dolazi na putnu točku blizu otoka Cresa (44°59,0 N, 014°14,5 E). Tamo se utvrdi kurs 360 stupnjeva te plovi 5 NM južno od separacijske zone kod Velih Vrata (45°04,0 N, 014°14,5 E). Ulazi se u separacijsku zonu kod Velih Vrata (45°08,0 N, 014°15,5 E) kursom od 010 stupnjeva te plovi 4.6 NM. Sjeverno od separacijske zone je deveta putna točka (45°12,0 N, 014°18,0 E) koja je udaljena 4.4 NM i plovi se kursom od 023 stupnjeva. Potom se uzima kurs od 090 stupnjeva i plovimo 7.8 NM do Omišlja (45°12,0 N, 014°29,0 E).

Za obje rute koriste se karte British Admiralty:188, 186, 200, 220, 204, 202, 2719, 1196.

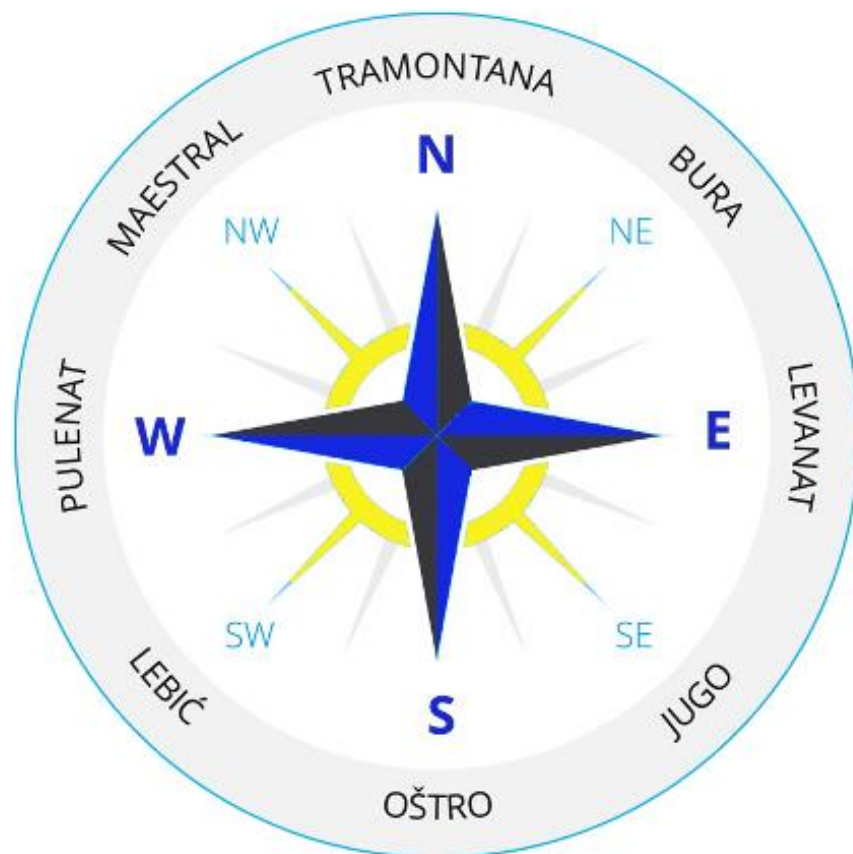
Također je važno napomenuti obvezu da se tokom cijele plovidbe Jadranom javlja određenim obalnim stanicama u sustavu ADRIREP (Adriatic Reporting System).



Slika 21- Sektori ADRIREP-a

4. UTJECAJ JAKOG JUGA

Vjetar i valovi utječu najviše od hidrometeoroloških elemenata na plovidu i aktivnosti na moru. Jadransko more je poznato ne toliko po količini vjetra koja puše već po brzom, uglavnom neočekivanom i nepredvidivom nastanku, promjeni smjera, razvoju i brzini te velikoj razlici u manifestiranju. Veliki broj otoka, između sebe ili s obalom tvore kanale uglavnom u smjeru protezanja obale, dok se na otocima i uz obalu nižu brojne luke, lučice, sidrišta, uvale, zakloništa... Na hrvatskom dijelu istočne obale ima značajnih oko 40 prelaza, oko 500 luka, lučica i sidrišta, 30 kanala te oko 1000 otoka, otočića, grebena i hridi. Nautičarima to omogućava jako puno mogućnosti izbora rute, luka, uvala i sidrišta. Da bi se do njih stiglo sigurno bez opasnosti za život i tamo boravilo treba jako dobro poznavati vjetar i valove.[15]



Slika 22- Ruža vjetrova [15]

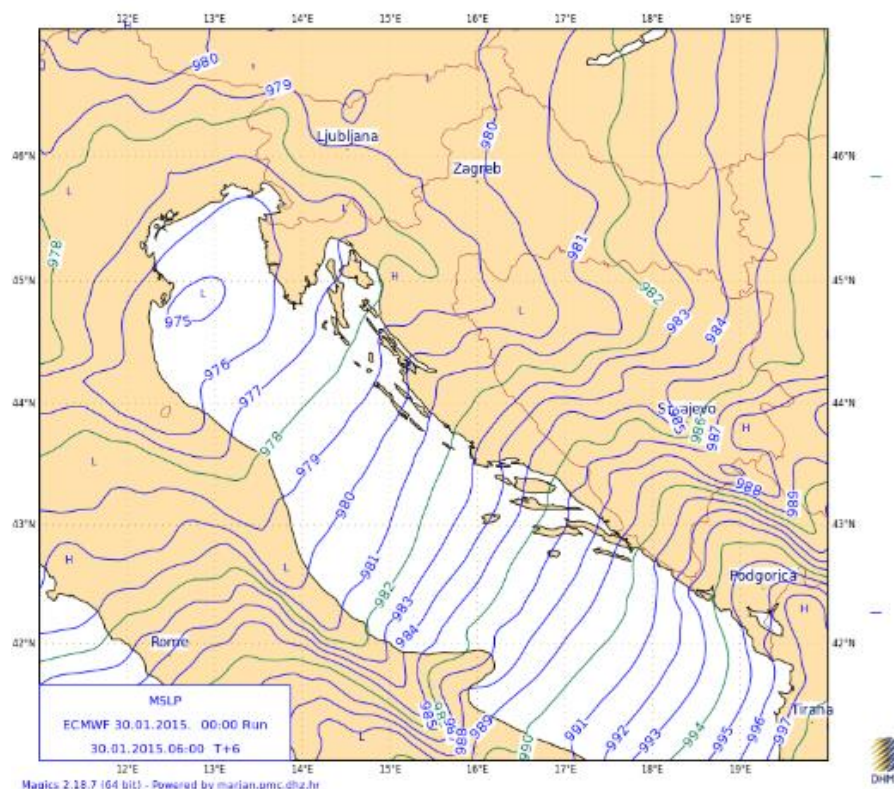
4.1. JUGO

Jugo puše iz jugoistočnog smjera, to je topao i vlažan vjetra. Nastaje kada se suh i topao zrak iznad sjevernoafričkih pustinja podigne te prijeđe preko Mediterana. Iznad Mediterana se obogati vlagom pa jugo od svih južnih vjetrova najdalje dopire na sjever. S jugom najčešće pada kiša te nastaje smanjena vidljivost i slojevita naoblaka, posebice na južnom Jadranu. Jugo je jak vjetar koji puše i po nekoliko dana te stvara najveće valove. [15]

Osobine juga su:

- brzina vjetra može biti i preko 30 čvorova ,
- ujednačene je brzine te postojanog smjera,
- nastaju pravilni visoki i dugi valovi,
- visoka razina mora,
- smanjena vidljivost,
- morske struje su pojačane u smjeru sjeverozapada.

Na južnom i srednjem Jadranu jugo češće i jače puše nego u sjevernom Jadranu. Najčešće puše te također i najjače puše u kasnu jesen, dok zimi i u rano proljeće dosta rjeđe. Uglavnom traje 2 do 3 dana, ali je moguće i da potraje čak i duže od jednog tjedna.[15]



Slika 23- Polje tlaka kod juga [15]

Uz obalu jugo u pravilu počne puhati malo nakon izlaska sunca te postupno pojačava, a spuštanjem sunca i njegova jačina opada te je prema tome suprotan buri. Dok na otvorenom moru puše prilično jednako i danju i noću tj. jednolično. [15]

Ljeti jugo kraće traje obično dan, dva i ne puše toliko jako. U pravilu ne prelazi 5 Beauforta te je nebo vedro i rijetko donosi kišu te oblačno vrijeme.

Dolazak juga možemo prepoznati kada se postupno, ali značajno smanji tlak zraka, temperatura i vlažnost zraka poraste, te se na nebu prvo pojave visoki cirusi, pa srednji oblaci te se pojave gorski oblaci juga nad vrhovima otoka i planinama.[15]



Slika 24- Jugo [15]

Zbog konfiguracije obale vjetar je kanaliziran. Zbog toga u užim kanalima jače puše te se stvaraju veći valovi čime je plovidba otežana. [15]

Jugo najčešće prelazi na jugozapadnjak - lebić(garbin) ili sjeveroistočnjak, ovisno o tome da li je ciklona prolazila južno ili sjeverno od položaja broda na moru i luke. Ako je završilo prelaskom na jugozapadnjak odnosno lebić nastaje ukrižano more koje je jako opasno pri plovidbi uz nezaštićenu i izloženu jugozapadnu obalu izvan otočnog područja, posebno zato što s jugozapada i zapada nastaju oluje i nevere. U zimskom periodu i u kasnu jesen često se znaju izmjenjivati jugo i lebić pa svega nakon par sati lebića opet zapuše jugo.[15]

Jugo prema nastanku se dijeli na :

- Jugo je ciklonalni vjetar jer nastaje prilikom nastanka, razvoja i pomicanja ciklona. Ciklonalno jugo ili mokro jugo počne puhati lagano ujutro jugoistočnjakom iz vedra i tiha vremena. Na padinama primorskih planina okrenutih prema moru i nad otocima nastaju usamljeni oblaci ili gorski oblaci dok je zapadno nebo potpuno prekriveno oblacima koji se spuštaju prema horizontu i postaju sve tamniji. Prije kiše jugo pojačava, a za vrijeme kiše i oslabi, ali odmah po završetku opet pojačava.

- Anticiklonalno jugo ili suho jugo koje nastaje prilikom prelaženja ciklone sjeverno od Jadrana, a izobare su na Mediteranu pravocrtne. Anticiklonalno jugo je također jaki vjetar uz koji obično kratkotrajno i mjestimično pada slabija kiša. Vjetar je štetan za vegetaciju i dosta je neugodan pa se u narodu još i zove gnjilo jugo ili palac. Nastaje iznenada bez znakova pogoršanja vremena. Počinje za tišine i vedra vremena, također i jako često bez gorskih oblaka.[15]

4.2. VALOVI

U usporedbi s oceanima Jadran je malo more, te se zbog toga odnosno zbog ograničenog prostiranja- privjetrišta i kraćeg trajanja vjetra, bilo zbog promjene smjera ili prestanka na njemu ne mogu razviti veliki valovi, već su oni manji i strmiji.

Da bi nastali najveći valovi moraju biti ispunjeni neki uvjeti:

- konstantan smjer vjetra pri velikoj brzini,
- dugo trajanje vjetra koji ima konstantan smjer i brzinu,
- velika dužina područja u smjeru puhanja vjetra.

Valovi juga su veliki s obzirom na Jadranske razmjere. Oni su dugi, relativno pravilni te imaju dugi period. U pravilu dosežu visinu oko 3 metra, dosta rijetko dosegnu i 6 metara, a samo u rijetkim slučajevima su i veći. Ako jugo dugotrajno puše tada i nastaju najveći valovi na Jadranu što su i potvrdila dosadašnja mjerenja. [16]



Slika 25 - Valovi juga u Dubrovniku [16]

4.3. ANALIZA RUTE S OBZIROM NA JUGO

Prilikom jakog juga koji puše brzinom od 50-61 km/h odnosno 28-31 čvorova nastaju valovi u blizini obale od 4 metra, a na otvorenom moru i do 5,5 metara.

Na odlasku iz luke Omišalj, tijekom jakog juga možemo očekivati određene probleme pri manevru isplovljenja zbog toga što je brod visok, tj. u balastu, ali uz iskusnog zapovjednika, pilota i lučkih tegljača ne bi trebalo biti nekih većih problema.

Nakon isplovljenja iz luke i plovidbom Riječkim zaljevom očekuje nas vjetar i more u lijevi krmeni kvartir, pa možemo očekivati da će brod lagano valjati. Nakon prolaska Velih vratiju vjetar i more će vise dolaziti iz pravca juga, tako da će brod više posrtati nego valjati. Tokom plovidbe od otoka Galijole do separacijske zone Sjevernog Jadrana možemo očekivati više vjetra i mora koji će dolaziti s naše lijeve strane, te ovisno o jačini vjetra i snazi mora možemo očekivati i jače valjanje broda. Od separacijske zone Sjevernog Jadrana i okretanja kursa u pravcu jugoistoka prema Palagruži i Otrantskim vratima vjetar i more će nam biti usmjereni u pramac. Na ovom dijelu rute nema zakloništa pa ostaje samo mogućnost da se smanji brzina broda kako se ne bi prejako udaralo u valove i tako ploviti do poboljšanja vremenskih uvjeta.

Plovidba od Otrantskih vratiju prema luci Omišalj, pod gore navedenim uvjetima, trebala bi biti na neki način lakša jer je brod pun tereta i većinu puta ima vjetar i more u krmu, te se ne gubi toliko na brzini i nema udaranja valova. Na dionici od separacijske zone sjevernog Jadrana do otočića Galiola te ulaska u Kvarner vjetar i more udaraju u bok te možemo očekivati valjanje broda. Plovidbom Riječkim zaljevom očekuje nas vjetar i more u desni pramčani kvartir, pa možemo očekivati da će se brod lagano valjati.

5. ZAKLJUČAK

U ovom su radu opisani potencijali LNG brodarstva u Hrvatskoj, opisane su tehničke karakteristike takvih brodova i analizirane mogućnosti plovidbe od Omišlja prema izlasku iz Jadranskog mora, a posebice uz utjecaj jakog juga prema kojemu su ti dijelovi Jadrana poznati.

Povijesno gledajući LNG plin postaje sve češći energent u svakodnevici pa se tako grade i sve veći brodovi, a i tehnologija skladištenja se uvelike poboljšala od prvih prenamijenjenih teretnjaka, npr. Methane Pioneer koji je prevozi oko 5000 t sve do današnjih Q-max brodova ukupne nosivosti 128 900 t.

Namjera rada je dokazati da je Jadransko more prilično sigurna i jednostavna ruta za kretanje LNG brodova opisanih u ovom radu te je detaljno opisana navigacija od predloženog omišaljskog terminala pa sve do Otrantskih vrata na jugu. Jadransko more ne karakteriziraju veliki valovi i veoma jaki vjetrovi, već neočekivanost njihova nastanka i strujanje na refule.

Pri plovidbi Jadranom česti su susreti s mediteranskim jugoistočnim vjetrom – jugom. Iako se radi o relativno jačem vjetru, ne izaziva velike valove u usporedbi s oceanima s obzirom da je Jadransko more malo i okruženo kopnom. Pri isplavljanju iz omišaljske luke mogu se osjetiti jači naleti juga pri manevriranju, ali je i taj dio putovanja ipak relativno jednostavan za iskusnu posadu.

LITERATURA

- [1] Izvor Grubišić; Geometrija broda, 2001;
URL: <https://www.fsb.unizg.hr/geometrija.broda/>
- [2] Alan Sacchi; Vrste LNG broda;
URL: <http://www.pomorskodobro.com/vrste-lng-brodova.html>
- [3] Dean Bernečić;
URL: http://www.pfri.uniri.hr/~bernecic/literatura/TTTT/Kol_1_LPG_LNG/
- [4] <https://www.scribd.com/document/220180371/1-Tekst-Osnove-Brodogradnje-1-Dio>
- [5] <http://www.hrleksikon.info/definicija/zagaznice.html>
- [6] Peter G. Noble; A Short History of LNG Shipping 1959-2009; Texas Section-SNAME, 10.02.2009,
URL: <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcdb863-8881-4263-af8d-530101f64412/UploadedFiles/c3352777fcaa4c4daa8f125c0a7c03e9.pdf>
- [7] Igor Rudan; Norman Lady Cargo Operating Manual
URL:
<http://www.pfri.uniri.hr/~rudan/Publikacije/Norman%20Lady%20Cargo%20Manual.pdf>
- [8] Mohit Kaushik; Q-Max Ships: The Largest LNG Ships in the World
URL: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/q-max-ships-the-largest-lng-ships-in-the-world/> (pristupljeno 28.10.2015)
- [9] Mate Banić;
URL: <http://www.pfri.uniri.hr/~mbaric/Vjezbe/VJE%C5%BDBE%202.pdf>
- [10] <http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Rukovanje%20teretom/PREDAVANJE%201.ppt>
- [11] <https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi83e3btKDWAhWLbZoKHUicDPoQFggxMAI&url=https%3A%2F%2Fjumboiskon.tportal.hr%2Fdl%2F887c40e1-89ca-45e6-ae93-7964dc6f198b&usg=AFQjCNGIldW0Uj7QLGsUKO4E17SymM2Tfw>
- [12] Joško Dvornik i Srđan Dvornik; Konstrukcija broda, Split, 2013.
URL: <http://www.joskodvornik.com/konstrukcija/konstrukcija-broda.pdf>
- [13] <https://www.aurea-krk.com/hr/omisalj>

[14] <http://proleksis.lzmk.hr/40172/>

[15] Bojan Lipovščak

URL: <http://lipovscak.com/meteo/vjetrovi.html>

[16] Bojan Lipovščak

URL: <http://lipovscak.com/meteo/valovi.html>

POPIS SLIKA

Slika 1 – Opći plan broda- „Norman Lady“ [7]	5
Slika 2- Prikaz dijela trupa i spremnika Moss sferične izvedbe [3]	6
Slika 3 - Gaz Transport NO96 System [3]	7
Slika 4 - Razvoj LNG brodova [6]	8
Slika 5- Primjer brodskih dužina [4]	9
Slika 6- Primjer brodske širine [4]	10
Slika 7- Gaz broda [4]	11
Slika 8- Methane Pioneer [6].....	12
Slika 9- Norman Lady [7].....	12
Slika 10- Q-max LNG tanker [8].....	13
Slika 11- Nosivost broda [9].....	14
Slika 12- Izračun blok koeficijenta [11]	16
Slika 13- Izračun prizmatičog koeficijenta [11]	17
Slika 14- Vodne linije broda [12]	18
Slika 15- Izračun koeficijenta vodne linije [11]	19
Slika 16- Kvarner, ruta Omišalj – Otrantska vrata	20
Slika 17- Ruta Crna Punta – otočić Galiola.....	21
Slika 18- Luka Brindisi i Otranto	22
Slika 19- Separacijska zona kod Palagruže	23
Slika 20- Kvarner, ruta Otrantska vrata- Omišalj.....	23
Slika 21- Sektori ADRIREP-a.....	24
Slika 22- Ruža vjetrova [15].....	25
Slika 23- Polje tlaka kod juga [15]	27
Slika 24- Jugo [15]	28
Slika 25 - Valovi juga u Dubrovniku [16].....	30

POPIS KRATICA

BOA (engl. <i>Beam over all</i>)	širina preko svega
BWL (engl. <i>Beam on Water Line</i>)	širina na vodenoj liniji
LOA (engl. <i>Length over all</i>)	dužina preko svega
LNG (engl. <i>Liquefied Natural Gas</i>)	prirodni ukapljeni plin
LPG (engl. <i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	ukapljeni naftni plin
LWL (engl. <i>Length on Water Line</i>)	dužina na vodnoj liniji